

# 基于行为分析的购物中心空间关系优化研究

李温湘

同济大学经济与管理学院, 上海

收稿日期: 2023年3月6日; 录用日期: 2023年4月20日; 发布日期: 2023年4月27日

## 摘要

本文从购物中心消费者与运营者视角出发, 旨在提升消费者移动过程中的关联购买行为, 建立了以消费者的移动距离最大为目标的购物中心功能空间优化模型, 为运营者进行购物中心空间布局规划提供了定量分析方法。模型基于文献梳理将消费者类型划分为主导发动型、活跃辅助型、定项任务型、随机孤立型四类; 利用活动分析法建立消费者主导发动型关联购买的关系网络, 以反映消费者行为特征; 再利用空间句法建立购物中心各商铺的空间关系网络, 以反映购物中心内各空间的距离与可达性; 通过遗传算法, 以消费者空间移动距离最大为优化目标, 结合行为与空间关系网络, 优化购物中心的商铺空间落位; 最后利用案例分析对建立的模型进行验证。

## 关键词

购物中心, 布局优化模型, 关联购买

# Research on Optimization of Shopping Center Spatial Relationship Based on Behavior Analysis

Wenxiang Li

School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai

Received: Mar. 6<sup>th</sup>, 2023; accepted: Apr. 20<sup>th</sup>, 2023; published: Apr. 27<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In this paper, from the perspective of shopping center consumers and operators, in order to im-

prove consumers' related purchase behavior in the process of moving, an optimization model of shopping center functional space with the goal of maximizing consumers' moving distance is established, which provides a quantitative analysis method for operators to plan the spatial layout of shopping centers. Based on literature review, the model divides consumer types into four categories: leading type, active auxiliary type, fixed task type and random isolated type. Using activity analysis method to establish the relationship network of consumer-led initiated related purchase to reflect the characteristics of consumer behavior. Then, the spatial relationship network of shops in the shopping center is established by using spatial syntax to reflect the distance and accessibility of each space in the shopping center. Through genetic algorithm, taking the maximum distance of consumers' spatial movement as the optimization goal, and combining the behavior and spatial relationship network, the space position of shops in shopping centers is optimized. Finally, a case study is used to verify the established model.

## Keywords

Shopping Center, Layout Optimization Model, Associated Purchase

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

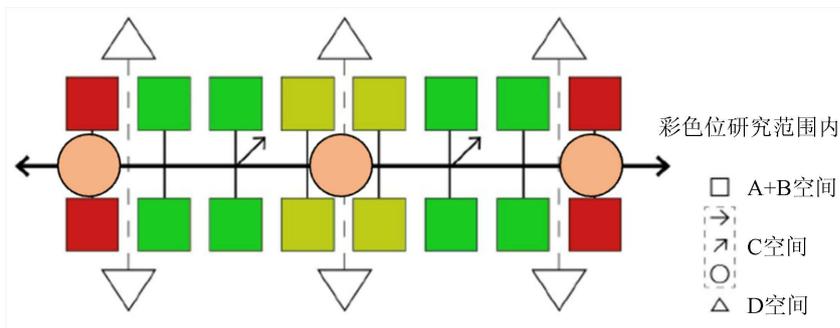
## 1. 引言

根据赢商网数据,购物中心在国内的存量项目已达近 6000 个,管理规模可达超 5 亿平方米,但是部分购物中心由于投资选址落位不当、商业管理不善等原因,出现客流量少、空铺率高、租金收缴率低等问题。在房地产逐步进入存量管理的时代背景下,如何提升各类存量资产的商业管理能力成为各大房地产商所需高度重视的话题。购物中心的商业运营方只有不断提升场内商户的销售额,提高消费者的消费意愿,才能进一步获取持续稳定的购物中心租金。

消费者在购物中心消费时,可能会在某一单店产生较高额度的消费,但是由于单店的备货宽度的影响,要进一步提升购物中心消费额就需要提升消费者对于其他类型店铺的关联购买。通过对消费者的行为进行分析可以发现,消费类型可以划分为计划内的消费与偶然性的消费,偶然性的消费往往发生在消费者完成计划内消费的步行路径中。基于此,如何合理规划购物中心消费着计划内店铺的空间落位,使得消费者发生更多的偶然性消费,是购物中心提升总体销售额的重要方法。

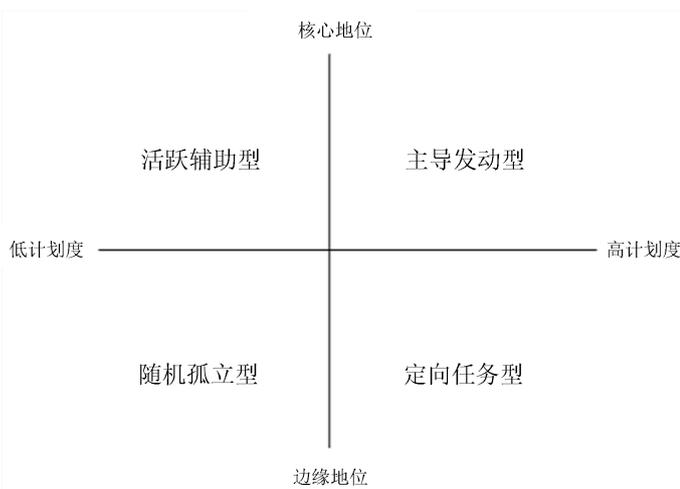
## 2. 文献评述

国内外学术论文对于购物中心的研究初期主要集中在从设计视角对购物中心的设计进行分析,例如对动线设计[1][2]、垂直空间[3]、内街[4]、空间秩序[5]、空间体系[6]等维度展开分析,这些研究的基础是建筑空间的类型化,以庄惟敏先生在《建筑策划导论》中提出的空间策划方法为基础,购物中心的空间类型可以分为 A、B、C、D 类空间四大类,基于 B 是 A 类空间的集合,因此将 A 与 B 类空间总称为 A + B 类空间。其中 A + B 类空间是购物中心中的活跃性要素,主要指购物中心的经营类商铺空间; C 空间为流动性要素,主要指购物中心中的水平、垂直交通空间和交通枢纽; D 空间是辅助型空间,主要指员工休息、卫生间、仓库等具有服务区域的辅助空间。购物中心中空间功能类型划分示意,如图 1 所示。



**Figure 1.** Schematic diagram of commercial space mode  
**图 1.** 商业空间模式示意图

伴随购物中心的增量放缓，相关研究开始从消费者视角切入[7] [8] [9] [10] [11]，助力运营商提高购物中心的整体经营能力，张舒[12]认为由于购物中心商品的备货宽度和业态种类既定的情况下，提高消费者关联购买意愿，就可以极大地提高购物中心销售额；日本学者谷口守、岩本武[13]则建立了关联购买的分析框架并指出，消费者的关联购买可以分为主活动与附随活动两类，主活动是在原定消费计划内，附随活动则伴随主活动发生，具有较强的偶然性，一般发生在主活动完成的路径中；在谷口守的研究基础上，王灿等[13]结合社会网络分析方法将消费者行为分为主导发动型、活跃辅助型、定向任务型、随机孤立型四类。主导发动型任务属于高计划程度的主任务，并且在网络中处于核心位置，能够有效带动网络中的其他消费行为；定向任务型属于高计划程度的主任务，但在网络中处于边缘位置，带来的联动消费较少；活跃辅助型属于低计划程度的附随任务，但在网络中也处于核心位置，是经常发生偶然性消费；随机孤立型属于低计划程度的附随任务，在网络中也处于边缘位置，是不经常发生的偶然性消费。分类方式和结果如图 2 所示：



**Figure 2.** Schematic diagram of four quadrants  
**图 2.** 四象限示意图

对于各类建筑空间的合理规划和利用，一直也是空间运营者所需要优先考虑的重点，学者对写字楼、园区、工厂、学校、医院等业态的空间布局优化[14] [15] [16] [17] [18]进行了充分的论述，但对于购物中心的研究相对较少。因此，本文将在现有文献基础上，借鉴空间管理、消费者行为相关研究，建立购物中心空间布局优化模型。

### 3. 模型构建

#### 3.1. 模型总体架构

本文建立的购物中心空间布局优化模型共分为三个部分：空间关系网络、行为关系网络、空间 - 行为关联网络优化。本模型的示意图如图 3 所示：

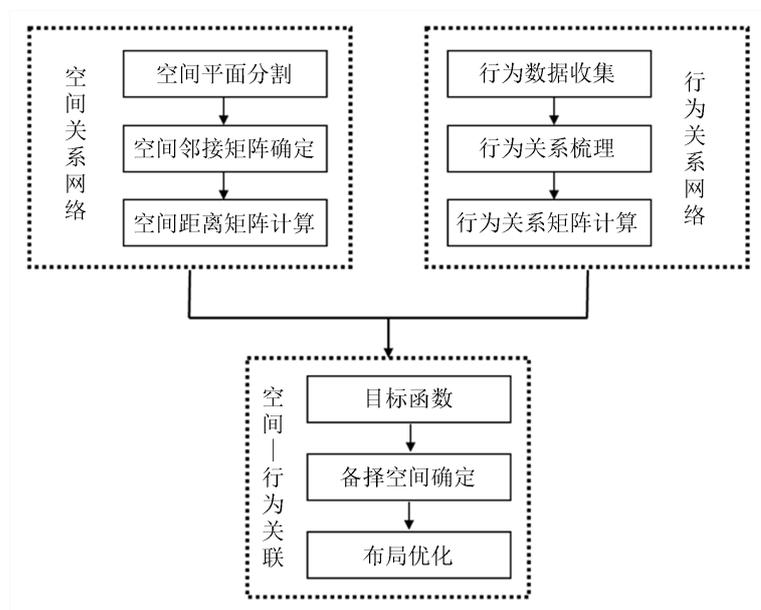


Figure 3. Overall framework of the model

图 3. 模型总体架构

#### 3.2. 空间 - 行为网络构建

##### 3.2.1. 空间关系网络

###### 1) 建筑空间分割

本模型采用空间句法中的凸空间分析对建筑平面进行分割。图 4 为建筑空间分割示意图，左图中实线代表墙等建筑实体，白色部分为需要优化的 A + B + C 类空间，黑色为不在优化范围内的 D 类空间；右图是根据凸空间分割方法形成的建筑空间，并可以将每个建筑空间命名为 S1、S2、S3、S4……Sn。

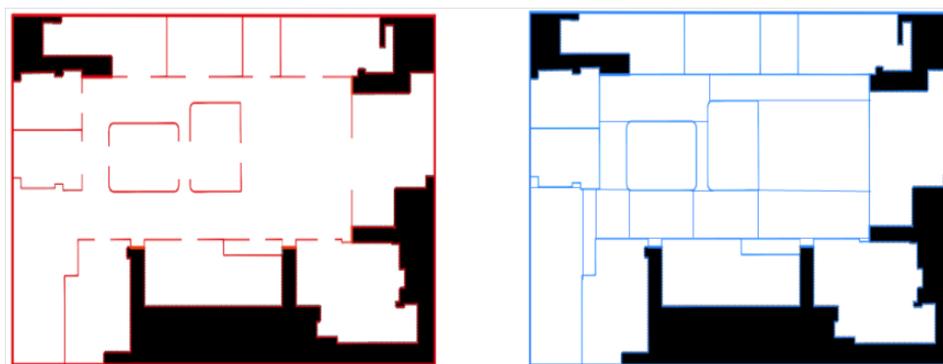


Figure 4. Schematic diagram of building space division

图 4. 建筑空间分割示意图

### 2) 空间关系连接

根据分割后的建筑平面图，根据可达性将  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ …… $S_n$  进行空间关联，空间关联示意图如图 5。

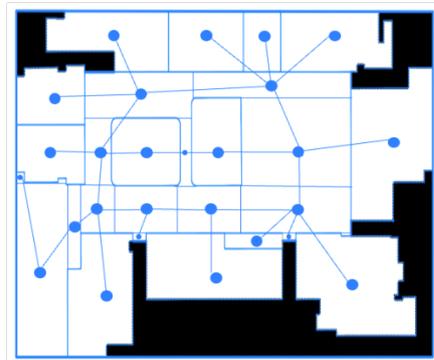


Figure 5. Spatial correlation diagram  
图 5. 空间关联示意图

垂直交通关系中，本模型将两层自动扶梯所对应的凸空间进行关联，实现垂直楼层之间的关系连接。多层垂直空间的关联示意图如图 6。

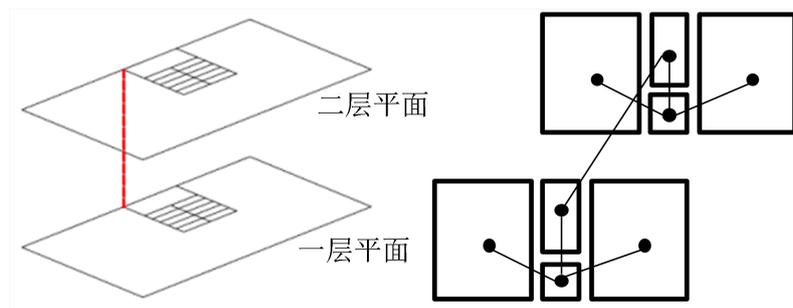


Figure 6. Schematic diagram of multi-layer spatial association  
图 6. 多层空间关联示意图

### 3) 拓扑关系转换

在获得各凸空间的连接关系后，可以直接将空间抽象为空间网络图。拓扑关系的转换示意图如图 7 所示。

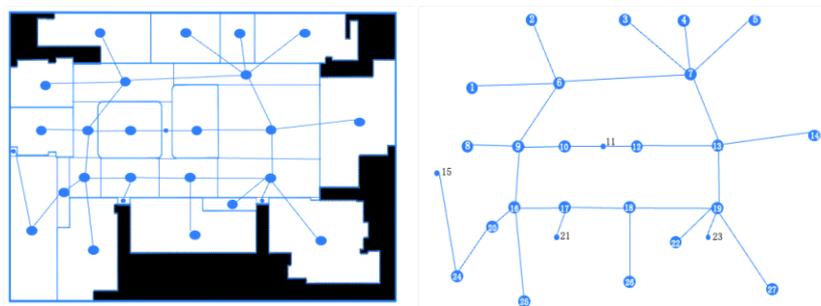


Figure 7. Schematic diagram of topological relation transformation  
图 7. 拓扑关系转换示意图

本模型采用两个凸空间平面重心的距离来表示任意相连凸空间  $S_i$ 、 $S_j$  之间的权重：

$$W_{ij} = |X_j - X_i| + |Y_j - Y_i| \quad (3.1)$$

对每一对相邻空间的空间距离进行计算，即可求得带权重的空间关系网络图  $V(E, D)$ 。其中， $E$  为边的集合， $S$  为点的集合， $D$  表示空间距离。则该图的权矩阵中：

$$D_{ij} = \begin{cases} W_{ij}, & \text{当}(S_i, S_j) \in E \\ \infty, & \text{当}(S_i, S_j) \notin E \end{cases} \quad (3.2)$$

根据弗洛伊德算法，任意两个凸空间的最短距离递推方程为：

$$D_k = \begin{cases} D, & k = 0 \\ \left( d_{ij}^{(k-1)} \right)_{n \times n}, & k = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (3.3)$$

其中：

$$d_{ij}^{(k)} = \min \left[ d_{ij}^{(k-1)}, d_{ik}^{(k-1)} + d_{kj}^{(k-1)} \right] (k > 0) \quad (3.4)$$

进而计算得到该空间网络图中每一对凸空间之间的最短距离，用矩阵  $D_{ij}^n$  表示，矩阵中的各个元素表示任意两个分割后的小尺度空间的空间距离。

### 3.2.2. 行为关系网络

#### 1) 基础数据来源

对于消费者的行为活动轨迹预测难度大，难以运用仿真建模技术进行预测。因此本模型采用的数据收集方法包括：

##### a) 问卷调查

在购物中心出入口发放问卷，收集消费者本次消费商铺、消费次序，即获取身份、时间、行为三类数据。同时，通过采访消费者消费活动是否属于原定消费计划的方式，对各类消费行为的计划程度进行计算。

##### b) 后台消费数据

购物中心通过会员积分的方式建立了会员运营数据库，通过对数据库的数据进行分析，即可获得：主体身份 ID、时间序列 T、对应行为 f，行为清单如表 1 所示。

**Table 1.** Behavior list

**表 1.** 行为清单

ID	时间	位置
ID1	T1	f3
ID1	T2	f4
ID1	T3	f2
ID1	T4	f1
ID1	T5	f5

#### 2) 行为关系网络

在获取行为清单后，即可对消费者的行为路线进行刻画，例如，编号 ID1 的行为主体，先后在商铺 1、3、5 发生了消费行为，则可以设定该消费者 1 号的消费路径如图 8 所示：

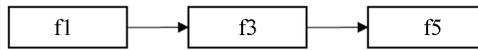


Figure 8. Schematic diagram of ID1 behavior path  
图 8. ID1 行为路径示意图

也存在另一个消费者，编号 ID2，先后在商铺 1、2、3、4 发生了消费行为。该行为主体的路径示意图如图 9 所示：



Figure 9. Schematic diagram of ID2 behavior path  
图 9. ID2 行为路径示意图

从这两位消费者的消费路径中可以看出，其均在商铺 1、3 中产生了消费，但其整体的消费路径并不相同。通过忽略消费时间这一影响，可以将两个消费者的消费路径进行关联。ID1 和 ID2 行为路径关联示意，如图 10 所示。

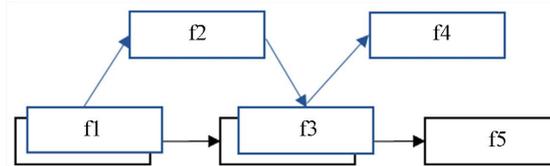


Figure 10. Schematic diagram of behavior path association between ID1 and ID2  
图 10. ID1 和 ID2 行为路径关联示意图

购物中心内同时存在多位消费者，其消费路径也不同，各类消费者的消费路径互相结合可形成消费者的行为关系网络。多名消费者形成的行为关系网络的示意图，如图 11 所示。

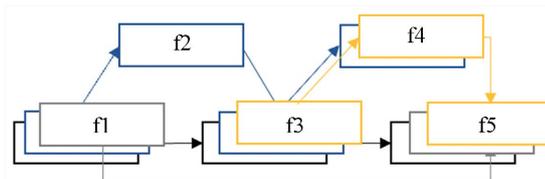


Figure 11. Schematic diagram of behavior relation network  
图 11. 行为关系网络示意图

在上图基础上进一步简化，忽略行为主体，只考虑行为的发生频次，即可获得带权重的行为关系网络图，如图 12 所示。

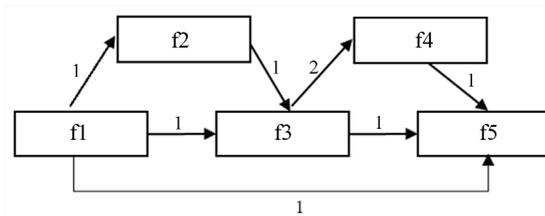


Figure 12. Weighted behavior relationship network diagram  
图 12. 带权重行为关系网络图

将带权重的行为关系网络图用行为关系矩阵  $F$  进行表示, 矩阵的元素  $f_{ij}$  即店铺  $i$  与店铺  $j$  发生关联购买行为的次数。上图的空间行为关系矩阵如下所示。

$$F_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

### 3) 主导发动型消费行为关系矩阵

利用社会网络分析中的“核心/边缘”分析、利用问卷收集的数据进行计划程度分析, 可以将消费者的行为划分为主导发动型、活跃辅助型、定向任务型以及随机孤立型四类。主导发动型的消费行为计划程度高, 属于本文的要优化的计划内消费对应的店铺类型; 同时主导发动型商铺相比较计划程度同样较高的定向任务型商铺而言, 其还具有的高核心度意味着消费者的到访频次较高, 因此优化意义更为显著, 所以本文只针对主导发动型进行优化。

本文将使用 UCINET 软件进行“核心 - 边缘”分析, 网络节点的核心度越高意味着该行为在网络中处于核心地位, 消费者的到访频次越高。

通过问卷调查的方式收集消费行为是否属于原定计划内消费, 本模型采用业态的整体计划程度来代表每一消费行为的计划程度。计划程度的计算方法如下所示,  $p$  为业态计划程度,  $i$  为该业态中所有消费行为中属于原定计划内发生的数量,  $t$  为该业态中所有消费行为的数量。

$$P = \frac{i}{t} \quad (3.6)$$

通过设置阈值的方式对消费行为进行划分, 高于阈值的即为核心消费行为, 低于阈值的列为边缘消费行为, 阈值的选取可根据需求进行调整; 计划程度则以平均计划程度进行选取, 高于平均计划程度的列为计划内消费店铺, 低于平均计划程度的列为偶然性消费店铺。并据此划分出四类消费行为, 选取主导发动型消费行为建立行为关系矩阵。

### 3.2.3. 空间 - 行为关联

消费行为一定发生在某功能空间中, 即可据此将行为关系网络和空间关系网络进行关联。空间 - 行为关联示意, 如图 13 所示。

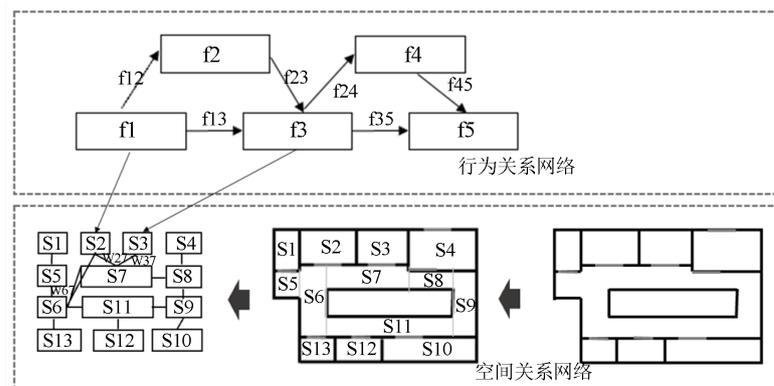


Figure 13. Spatial-behavioral correlation diagram

图 13. 空间 - 行为关联示意图

图中下方为空间关系网络示意图，上方为行为关系网络的示意图，每一个行为活动  $F_i$  均发生在某一特定的空间  $S_j$  中。因此在上图中共存在三种关联关系，空间与行为的关系如表 2 所示。

**Table 2.** Space-behavior relationship  
**表 2.** 空间 - 行为关系

关系	解释
$s_i-s_j$ 空间 - 空间	空间 $i$ 与 $j$ 的可达性
$f_i-f_j$ 行为 - 行为	行为 $i$ 与 $j$ 存在关联并购
$f_i \rightarrow s_j$ 行为 - 空间	行为 $i$ 发生在空间 $j$ 中

根据行为关系网络，存在从  $f_1$  到  $f_3$  的关联购买，根据空间关系网络，消费者在进行本次购买时会从  $s_2$  移动  $s_3$ ，并且途中会经过  $s_7$ 。此时，为了完成这一空间移动，消费者行进了从  $s_2$  到  $s_3$  的距离，即：

$$D = ds_{23} = W_{27} + W_{73} \tag{3.7}$$

由于  $f_1 \rightarrow f_3$  也可能发生多次，在考虑全部消费者行为的基础上，总体距离为：

$$D = d_{23} \times f_{13} \tag{3.8}$$

对于既定的行为  $f_1$  和  $f_3$ ，如果行为与空间的映射关系发生变化，例如  $f_1$  需要在空间  $s_6$  中进行， $f_3$  不变，这时移动距离就会变化为：

$$D = ds_{63} = W_{67} + W_{73} \tag{3.9}$$

这时，购物中心消费者的总移动距离  $TD$  也会变化，通过合理的空间布局，将行为  $f_i$  映射到最佳的空间  $S_j$  中，就能使得顾客在完成所有计划内消费行为时的空间移动距离最大。

### 3.3. 空间布局优化模型

#### 3.3.1. 目标函数

在空间 - 行为关系网络中，需要把集合  $F$  中的每一个元素，都映射到集合  $S$  中。通过 0-1 变量，可以将空间 - 行为的映射关系表示为：

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{将 } i(f_i) \text{ 分配给 } j(s_j) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \tag{3.10}$$

上式存在两个约束条件，即

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots, n \tag{3.11}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq 1, \quad j = 1, 2, 3, 4, \dots, n \tag{3.12}$$

在这种分配关系下，存在行为  $f_i$ 、 $f_k$ 、 $s_j$ 、 $s_l$ 。只有把行为  $f_j$  分配给某一空间  $s_j$ ，把  $f_k$  又分配给某一空间  $s_l$ ，行为主体才会发生空间移动。

$$\begin{cases} X_{ij} = 1 \\ X_{kl} = 1 \\ X_{ij} * X_{kl} = 1 \end{cases} \tag{3.13}$$

移动的空间距离为  $d_{ijkl}$ ，在满足上述条件是， $d_{ijkl} = F_{ik} * D_{jl}$  因此，在一定时间内，购物中心中消费者移动的总距离为

$$TD = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n X_{ij} X_{kl} F_{ik} D_{jl} \quad (3.14)$$

每个消费行为活动  $F_i$  对于空间的面积和位置需求是不同的，因此就需要将行为与空间集合分为若干子集，并按照空间、行为的对应关系进行匹配，集合如表 3 所示。

**Table 3.** Set of constraints

**表 3.** 约束条件集合

行为集合	备择空间集合
F1 (4)	S1 (s4)
F2 (f2)	S2 (s2)
F3 (f1, f5, f12, f13, f16)	S3 (s1, s5, s12, s13, s16)
F4 (f3, f6, f7, f8, f9, f10, f11, f14, f15)	S4 (s3, s6, s7, s8, s9, s10, s11, s12, s14, s15, s16, s18, s19)

综上，空间 - 行为优化模型的解，必须满足每一行为活动都有唯一的空间进行映射，并且该空间满足既定的行为需求，在此基础上使得购物中心内消费者的空间移动距离最大。

### 3.3.2. 优化算法

空间 - 行为布局优化模型是典型的平面布局优化问题，其中遗传算法是应用最为广泛便捷的算法，因此本文将采用遗传算法进行空间 - 行为的布局优化。

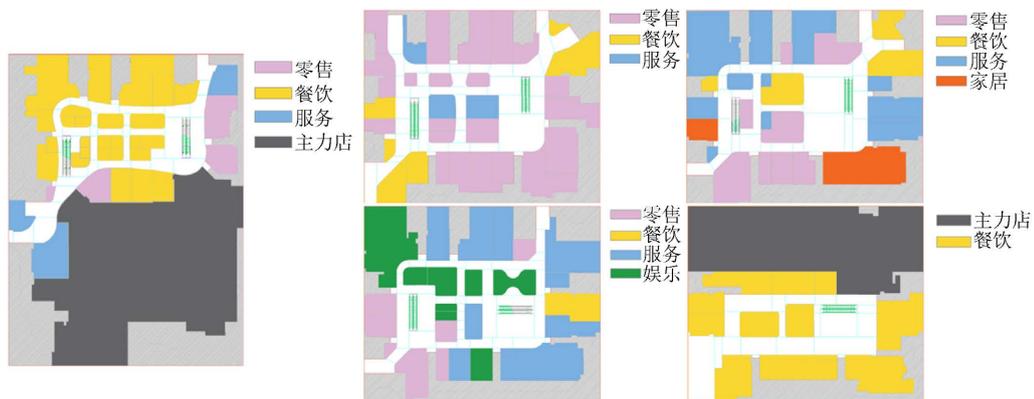
本研究利用 python 进行模型求解，程序包含数据导入、初始化种群、适应度计算与种群更新、染色体交换、基因变异等五个子函数构成。其中遗传算法的适应度函数为本模型的目标函数，约束条件为行为集合与空间集合的对应关系。

## 4. 案例分析

本文将以上海市某购物中心为案例，对已建立模型的可行性进行评价。

### 4.1. 案例背景

案例购物中心地处上海市，经营楼层共五层，停车场一层。该购物中心的日均客流量一万五千人次，商业租赁面积为两万四千平方米。该购物中心负一层主要业态为餐饮业态，一层主要为零售业态，二层为服务及零售业态，三层为服务以及娱乐业态，四层为餐饮业态。各楼层建筑平面图，如图 14 所示。



**Figure 14.** Building plan of each floor

**图 14.** 各楼层建筑平面图

## 4.2. 空间 - 行为模型构建

### 4.2.1. 数据收集

#### 1) 空间数据

##### a) 基础处理

本案例中的空间数据来自于购物中心的建筑平面图，在研究前需对原平面图纸进行处理，删掉平面上不必要的信息，仅保留能将公共交通空间及功能空间(商铺)等 A + B + C 类空间进行分割的墙体和柱体等基本构造单元。

##### b) 空间分割

利用空间句法将购物中心五层建筑空间划分为 270 个小尺度空间，其中 A + B 类空间，即功能空间(商铺) 136 处，其余均为 C 类空间，即公共交通空间。由于垂直多层空间关系需要以扶梯为中介进行关联，因此将每层的扶梯作为单独的单元进行分割。案例购物中心的第二层空间分割图，如图 15 所示。

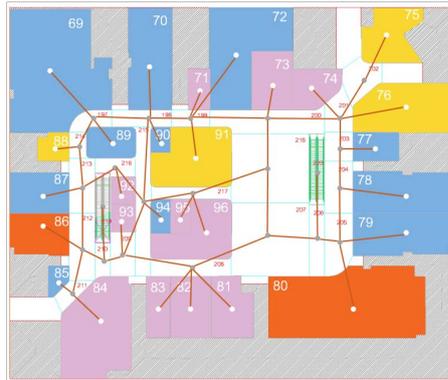


Figure 15. Space division diagram of two-story building  
图 15. 二层建筑空间分割图

##### c) 空间距离计算

在空间关系网络图基础上，用 CAD 软件标注小尺度空间的质心坐标，再计算出相连空间的距离，标注为  $S_{ij}$ ，进而得到  $270 \times 270$  的空间关系图权矩阵 D。由于矩阵元素过多，图 16 只展示部分：

	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204
156	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
157	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
158	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
159	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	10	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
160	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
161	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
162	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
163	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
164	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
165	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
166	20.3	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
167	inf	6	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
168	inf	7.8	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
169	inf	inf	5.1	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
170	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
171	inf	inf	inf	6.9	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
172	inf	inf	inf	12.4	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	11.2	inf						
173	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
174	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
175	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
176	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
177	inf	inf	inf	inf	12.6	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
178	inf	inf	inf	inf	inf	13	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
179	inf	inf	inf	inf	inf	inf	12.1	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
180	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	10.6	inf	inf	10.4	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
181	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
182	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
183	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
184	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
185	8.3	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf
186	0	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf

Figure 16. Spatial network matrix  
图 16. 空间网络矩阵

再通过弗洛伊德算法求得最短距离矩阵。由于模型的优化范围仅包含功能空间，删掉公共交通类空间对应行列后，得到 136\*136 的空间距离矩阵，图 17 只展示部分：

	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
64	19.9	41.6	18.3	19	136.2	125.6	109.4	102.9	93.5	97.3	119.5	124.2	116	130.4	130.4	132.4	137.3	134.7
65	0	44.9	21.6	22.3	139.5	128.9	112.7	106.2	96.8	100.6	122.8	127.5	119.3	133.7	133.7	135.7	140.6	138
66	44.9	0	43.3	44	114	100.7	84.5	78	68.6	72.4	94.6	99.3	91.1	105.5	105.5	107.5	116.8	114.2
67	21.6	43.3	0	20.7	137.9	127.3	111.1	104.6	95.2	99	121.2	125.9	117.7	132.1	132.1	134.1	139	136.4
68	22.3	44	20.7	0	133.8	120.5	104.3	97.8	88.4	92.2	114.4	119.1	110.9	125.3	125.3	127.3	136.6	134
69	139.5	114	137.9	133.8	0	37.5	41.9	70.6	61.2	65	87.2	91.9	83.7	98.1	98.1	99.8	73.1	70.5
70	128.9	100.7	127.3	120.5	37.5	0	28.6	57.3	47.9	51.7	73.9	78.6	70.4	84.8	84.8	86.5	59.8	57.2
71	112.7	84.5	111.1	104.3	41.9	28.6	0	41.1	31.7	35.5	57.7	62.4	54.2	68.6	68.6	70.6	64.2	61.6
72	106.2	78	104.6	97.8	70.6	57.3	41.1	0	25.2	29	51.2	55.9	47.7	62.1	62.1	64.1	73.4	70.8
73	96.8	68.6	95.2	88.4	61.2	47.9	31.7	25.2	0	19.6	41.8	46.5	38.3	52.7	52.7	54.7	64	61.4
74	100.6	72.4	99	92.2	65	51.7	35.5	29	19.6	0	27.7	32.4	24.2	38.6	38.6	58.5	67.8	65.2
75	122.8	94.6	121.2	114.4	87.2	73.9	57.7	51.2	41.8	27.7	0	26.3	36.5	50.9	50.9	80.7	90	87.4
76	127.5	99.3	125.9	119.1	91.9	78.6	62.4	55.9	46.5	32.4	26.3	0	41.2	55.6	55.6	85.4	94.7	92.1
77	119.3	91.1	117.7	110.9	83.7	70.4	54.2	47.7	38.3	24.2	36.5	41.2	0	31.4	31.4	64.4	73.7	71.1
78	133.7	105.5	132.1	125.3	98.1	84.8	68.6	62.1	52.7	38.6	50.9	55.6	31.4	0	28.8	61.8	71.1	68.5
79	133.7	105.5	132.1	125.3	98.1	84.8	68.6	62.1	52.7	38.6	50.9	55.6	31.4	28.8	0	61.8	71.1	68.5
80	135.7	107.5	134.1	127.3	99.8	86.5	70.6	64.1	54.7	58.5	80.7	85.4	64.4	61.8	61.8	0	50.5	47.9
81	140.6	116.8	139	136.6	73.1	59.8	64.2	73.4	64	67.8	90	94.7	73.7	71.1	71.1	50.5	0	21.2
82	138	114.2	136.4	134	70.5	57.2	61.6	70.8	61.4	65.2	87.4	92.1	71.1	68.5	68.5	47.9	21.2	0
83	140.2	116.4	138.6	136.2	72.7	59.4	63.8	73	63.6	67.4	89.6	94.3	73.3	70.7	70.7	50.1	23.4	20.8
84	112.5	113	110.9	111.6	61.7	67.7	72.1	94	84.6	88.4	110.6	115.3	107.1	113.6	113.6	93	66.3	63.7
85	106.6	107.1	105	105.7	55.8	61.8	66.2	88.1	78.7	82.5	104.7	109.4	101.2	107.7	107.7	87.1	60.4	57.8
86	109.7	110.2	108.1	108.8	51.6	61.5	65.9	91.2	81.8	85.6	107.8	112.5	104.3	110.8	110.8	90.2	63.5	60.9
87	121.8	122.3	120.2	120.9	38.5	48.4	52.8	81.5	72.1	75.9	98.1	102.8	94.6	106.1	106.1	85.5	58.8	56.2

Figure 17. Functional space distance matrix

图 17. 功能空间距离矩阵

## 2) 行为数据

本文以案例购物中心 2022.7 至 2022.9 的会员消费数据为基础数据。数据涵盖 25,783 名会员，共计 111,868 条消费记录。数据维度涵盖会员当日消费店铺、消费时间以及消费金额。

### a) 基础处理

首先利用 python 对数据进行预处理，对消费数据按照时间、消费 ID 进行排序，删除重复消费店铺。

### b) 数据描述

通过对数据进行基本分析，发现在三个月的会员消费中，虽然未发生并购行为的消费次数占 70%。但从到访店铺数量以及整体消费金额来看，30%的消费记录贡献了超 50%的店铺消费频次、近 60%营业额。并购次数统计如图 18 所示。

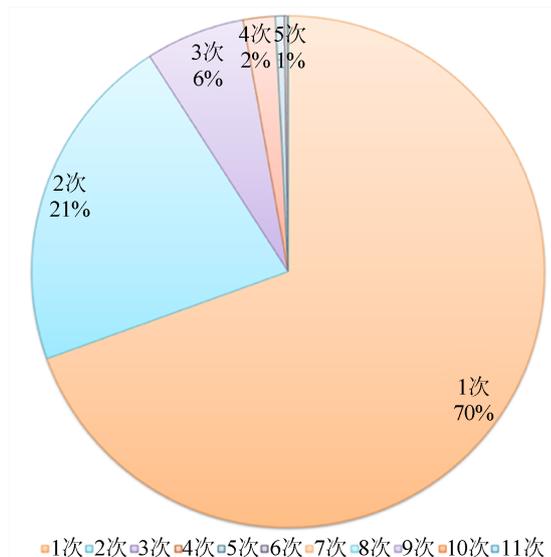


Figure 18. Statistics of M&A times

图 18. 并购次数统计

为进一步描述已获得的行为数据，本文将消费行为进行业态的分类，分类方式如表 4 所示：

**Table 4.** Classification of formats  
**表 4.** 业态分类

一级业态	二级业态
餐饮	特色餐饮
	休闲餐饮
	快餐
服务	儿童教育/儿童服务
	美容美体保健
	成人培训
	配套设施
家居	家居零售
	包装食品
零售	便利店
	儿童用品
	服装服饰
	化妆品
	零售(主力店)
	数码电器
	鞋包
	钟表/珠宝/高端笔/精品
娱乐	成人娱乐
	儿童娱乐
	娱乐(影院)

c) 行为矩阵分析

通过 python 对基础行为数据进行进一步处理，形成消费者行动轨迹，汇总形成 121\*121 的行为关系图权矩阵，部分举例如图 19 所示。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	38	5	8	33	5	28	21	103	18	17	13	1	2	42	72	19	13
2	38	0	1	16	12	0	54	18	280	12	14	11	10	15	103	42	23	10
3	5	1	0	6	0	0	9	6	29	0	1	0	0	3	10	3	2	1
4	8	16	6	0	10	1	13	11	49	9	3	11	1	2	15	11	11	1
5	33	12	0	10	0	2	49	27	50	5	8	4	3	6	34	18	17	2
6	5	0	0	1	2	0	2	1	19	2	3	3	2	0	0	5	0	0
7	28	54	9	13	49	2	0	45	218	16	19	13	2	9	34	50	8	8
8	21	18	6	11	27	1	45	0	93	12	10	15	4	6	15	17	8	6
9	103	280	29	49	50	19	218	93	0	87	69	76	19	30	273	280	51	46
10	18	12	0	9	5	2	16	12	87	0	8	9	2	5	33	28	10	2
11	17	14	1	3	8	3	19	10	69	8	0	5	1	1	31	22	10	3
12	13	11	0	11	4	3	13	15	76	9	5	0	2	10	22	18	9	4
13	1	10	0	1	3	2	2	4	19	2	1	2	0	4	7	5	2	3
14	2	15	3	2	6	0	9	6	30	5	1	10	4	0	28	17	2	7
15	42	103	10	15	34	0	34	15	273	33	31	22	7	28	0	110	24	31
16	72	42	3	11	18	5	50	17	280	28	22	18	5	17	110	0	45	13
17	19	23	2	11	17	0	8	8	51	10	10	9	2	2	24	45	0	14

**Figure 19.** Example of weight matrix of behavior relation diagram  
**图 19.** 行为关系图权矩阵举例

为得到其中的主导发动型消费行为，本文利用问卷调查获取店铺消费的计划程度。问卷的发放时间是 2022 年的 9 月 15 日~17 日，共计有效问卷数量 385 份，问卷的调查内容为消费的店铺名称、发生时

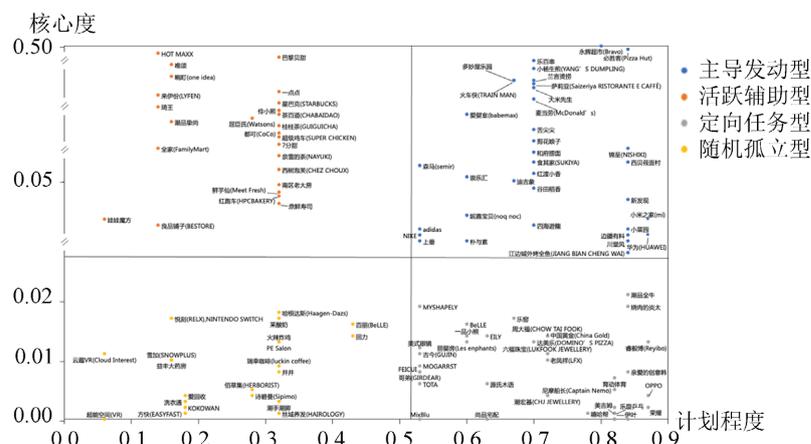
间、发生的消费是否在原计划内。通过问卷的数据进行处理，本文计算得出了二级业态的计划程度，计算结果如表 5 所示：

**Table 5.** Degree of format planning  
**表 5.** 业态计划程度

一级业态	二级业态	计划程度
餐饮	特色餐饮	0.84
	休闲餐饮	0.32
	快餐	0.7
服务	儿童教育/儿童服务	0.82
	美容美体保健	0.32
	成人培训	0.78
	配套设施	0.18
	家居	家居零售
零售	包装食品	0.14
	便利店	0.16
	儿童用品	0.6
	服装服饰	0.53
	化妆品	0.28
	零售(主力店)	0.8
	数码电器	0.87
	鞋包	0.43
	钟表/珠宝/高端笔/精品	0.72
	娱乐	成人娱乐
儿童娱乐		0.67
娱乐(影院)		0.82

利用 UCINET 软件计算得出 121 类行为的核心度，排名前 60 的消费行为作为核心行为。

通过对核心度以及计划程度的计算，可得出购物中心中 121 种消费行为的四象限图。其中，主导发动型共有 35 种，作为本文的优化对象，分类结果如图 20 所示。



**Figure 20.** Four-quadrant classification of behavior  
**图 20.** 行为四象限分类

#### 4.2.2. 模型构建

##### 1) 空间 - 行为关联

基于现有平面布局情况，将每个行为活动安排在不同的空间内，形成空间行为关联布局，35 个主导发动型商铺的初始空间布局情况如表 6 所示。

**Table 6.** Spatial distribution of cases

**表 6.** 案例空间分布

行为编号	功能空间编号	行为编号	功能空间编号
9	10	113	127
103	97	114	128
1	1	116	131
2	2	117	132
5	5	118	133
10	11	119	134
11	12	120	130
12	13	33	60
16	18	36	39
18	20	37	40
19	21	49	52
21	24	60	59
24	25	75	84
25	34	69	76
94	103	99	83
104	115	100	84
105	116	102	86
106	117		

##### 2) 约束条件

不同业态的店铺对于空间位置和面积的需求不尽相同。本文将业态的楼层分布习惯、面积可替代性作为本模型的约束条件。分类结果、分类依据如表 7 所示。

**Table 7.** Space-behavior constraints conditions

**表 7.** 空间 - 行为约束条件

行为活动编号	编号	备择空间编号	约束原因
9	S1	10	面积可替代性
103	S2	97	面积可替代性
1, 2, 5, 10, 11, 12, 16, 18, 19, 21, 24, 25, 94	S3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35	面积可替代性、业态布局规律
104, 105, 106	S4	114, 115, 116, 117	面积可替代性、业态布局规律
113, 114, 116, 117, 118, 119, 120	S5	123, 124, 125, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135	面积可替代性、业态布局规律

## Continued

33, 36, 37, 49, 60, 75	S6	36、37、38、39、40、41、43、44、45、47、48、 49、50、51、52、53、54、55、56、57、58、59、 60、69、70、72、73、74、75、76、78、79、80、 81、82、83、84、86、87	面积可替代性、业态布局规律
69	S7	43、47、48、53、54、69、76、80、84、103	面积可替代性、业态布局规律
99, 100, 102	S8	98、99、100、101、102、103、104、105、107、 108、109、110、111、112、113	面积可替代性、业态布局规律

## 3) 优化计算

将空间距离矩阵与行为关系矩阵导入优化算法中，并得出优化结果。根据优化算法计算，新的布局分配情况如表 8 所示：

Table 8. Spatial distribution after optimization

表 8. 优化后空间分布

行为编号	功能空间编号	行为编号	功能空间编号
9	10	113	127
103	97	114	128
1	1	116	131
2	2	117	132
5	5	118	133
10	11	119	134
11	12	120	130
12	13	33	60
16	18	36	39
18	20	37	40
19	21	49	52
21	24	60	59
24	25	75	84
25	34	69	76
94	103	99	83
104	115	100	84
105	116	102	86
106	117		

通过迭代，优化后的空间布局的总体移距离较之前增加 124701.1，提升了 15.8%。移动距离对比的示意图，如表 9 所示。

Table 9. Comparison of moving distance before and after optimization

表 9. 优化前后移动距离对比

优化前后	整体移动距离
原始布局	786837.3
优化后布局	911538.4

案例的计算结果如下图所示，本次共计进行了 3000 次迭代，在 1500 次左右开始收敛，并得到最优解。模型的整体优化迭代过程，如图 21 所示：

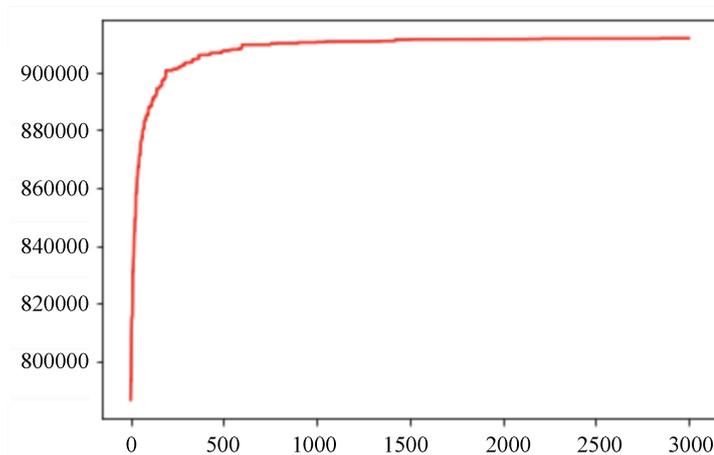


Figure 21. Optimization iterative process

图 21. 优化迭代过程

## 5. 结论与展望

本文以经营者视角切入，以消费者空间移动距离最大为优化目标，基于消费者行为分析对购物中心的空间进行优化。本文的主要结论包括以下三点。

1) 利用活动分析法，对消费者行为进行分析，利用消费行为的计划程度、消费行为在网络中的重要程度，可以将消费者行为分类四类，即主导发动、活跃辅助、定项任务、随机孤立四类。

2) 对于购物中心而言，利用空间句法可以将购物中心进行空间分割，并可以分割后的小尺度空间建立空间关系网络。这种方式建立的空间关系网络可以为经营者分析购物空间提供基础，对各类空间参数进行计算，并可以通过各类最短路径算法计算空间各个点位的最短路径距离。

3) 通过将活动分析法与空间句法两种方法的结合，可以建立空间与行为关联网络的映射关系，也就将购物中心的店铺空间落位建立了数学化的表达方法。通过对消费者消费偏好的具体分析，可以针对主导发动型消费行为的空间落位进行优化，使得消费者在完成计划内消费时的空间移动距离最大，使消费者产生更多的偶然性消费。

但是本文仍然存在一定的研究不足，例如本文所使用的数据中只包含会员的消费记录，对于非会员的行为记录有一定的欠缺，因此对于购物中心而言，需要提升会员的消费占比，提升数据的全面性。另外由于本文只对计划性较强且在行为网络中处于核心地位的店铺进行优化，并认为消费者在这些店铺之间的穿梭过程中会发生偶然性消费，因此如何将其他店铺合适的布置在主导发动型店铺路线之间，使得消费者更容易发生偶然性消费也是需要研究的一项内容，后续可以针对此展开进一步的研究。

## 参考文献

- [1] 武锐. 商业综合体的一般性设计方法[J]. 城市建筑, 2013(22): 15+46.  
<https://doi.org/10.19892/j.cnki.csjz.2013.22.010>
- [2] 戴叶子. 被动集客原则下的商业综合体形态研究——以深圳、香港两地为例[J]. 新建筑, 2013(1): 106-109.
- [3] 李蕾. 层的消解与重构——无锡通惠路步行街综合商业项目设计解读[J]. 建筑学报, 2009(12): 68-71.
- [4] 高博为. 城市商业综合体内街空间设计研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.

- 
- [5] 岳小春. 城市商业建筑综合体公共空间的秩序研究[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2012.
- [6] 金紫崧. 大型商业综合体空间形态体系及其设计手法研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [7] 符国群. 中、美、新三国消费者对品牌延伸的评价[J]. 经济评论, 1995(4): 65-69.  
<https://doi.org/10.19361/j.er.1995.04.012>
- [8] 罗纪宁. 西方消费者行为学研究理论和方法评析[J]. 江汉论坛, 2005(9): 14-17.
- [9] 王德, 农耘之, 朱玮. 王府井大街的消费者行为与商业空间结构研究[J]. 城市规划, 2011, 35(7): 43-48+60.
- [10] 朱玮, 王德. 南京东路消费者的空间选择行为与回游轨迹[J]. 城市规划, 2008(3): 33-40.
- [11] 陈龙. 基于消费者行为分析的大学城学生街空间研究——以济南大学科技园学生街为例[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2012.
- [12] 张舒. 基于消费者类型的购物中心关联购买行为研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [13] 王灿, 王德, 朱玮, 等. 消费者行为视角下的商业综合体功能复合效应与机制[J]. 新建筑, 2018(4): 112-116.
- [14] Corrado, C. and Matthey, J. (1997) Capacity Utilization. *Journal of Economic Perspectives*, **11**, 151-167.  
<https://doi.org/10.1257/jep.11.1.151>
- [15] Bafna, S. (2003) Space Syntax: A Brief Introduction to Its Logic and Analytical Techniques. *Environment and Behavior*, **35**, 17-29. <https://doi.org/10.1177/0013916502238863>
- [16] Ekholm, A. (1996) A Conceptual Framework for Classification of Construction Works. *Journal of Information Technology in Construction*, **1**, 25-50.
- [17] Ekholm, A. and Fridqvist, S. (1996) Modelling of User Organisations, Buildings and Spaces for the Design Process. [https://www.researchgate.net/publication/250705346\\_MODELLING\\_OF\\_USER\\_ORGANISATIONS\\_BUILDINGS\\_AND\\_SPACES\\_FOR\\_THE\\_DESIGN\\_PROCESS](https://www.researchgate.net/publication/250705346_MODELLING_OF_USER_ORGANISATIONS_BUILDINGS_AND_SPACES_FOR_THE_DESIGN_PROCESS)
- [18] NAO (1996) Space Management in Higher Education: A Good Practice Guide. National Audit Office, London, 1-11.